

새싹 인삼의 수확 전 UV-A 및 -B LED의 조사에 의한 진세노사이드의 영향

장성남¹ · 이가운¹ · 심한솔¹ · 배진수¹ · 이애련² · 조두용³ · 조계만^{4,6} · 손기호^{5,6*}

¹경상국립대학교 원예과학과 대학원생, ²경상국립대학교 원예과학과 연구원, ³경상국립대학교 식품과학부 대학원생,
⁴경상국립대학교 식품과학부 교수, ⁵경상국립대학교 원예과학과 교수, ⁶경상국립대학교 생명자원과학과 교수

Effect of Pre-harvest Irradiation of UV-A and UV-B LED in Ginsenosides Content of Ginseng Sprouts

Seong-Nam Jang¹, Ga-Oun Lee¹, Han-Sol Sim¹, Jin-Su Bae¹, Ae-Ryeon Lee², Du-Yong Cho³,
Kye-Man Cho^{4,6}, and Ki-Ho Son^{5,6*}

¹Graduate Student, Department of Horticultural Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

²Researcher, Department of Horticultural Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

³Graduate Student, Department of Food Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

⁴Professor, Department of Food Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

⁵Professor, Department of Horticultural Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

⁶Professor, Department of GreenBio Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

Abstract. This study was conducted to determine the changes in ginsenosides content according to additional UV-A, and UV-B LED irradiation before harvesting the ginseng sprouts. One-year-old ginseng seedlings (n=100) were transplanted in a tray containing a ginseng medium. The ginseng sprouts were grown for 37 days at a temperature of 20°C (24h), a humidity of 70%, and an average light intensity of 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (photoperiod; 24h) in a container-type plant factory. Ginseng sprouts were then transferred to a custom chamber equipped with UV-A (370 nm; 12.90 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) and UV-B (300 nm; 0.31 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) LEDs and treated for 3 days. Growth parameters and ginsenoside contents in shoot and root were conducted by harvesting on days 0 (control), 1, 2, and 3 of UV treatments, respectively. The growth parameters showed non-significant differences between the control and the UV treatments (wavelengths or the number of days). Ginsenoside contents of the shoot was highly improved by 186% in UV-A treatment compared to the control in 3 days of the treatment time. The ginsenoside contents of the roots was more improved in UV-A 1-day treatment and UV-B 3-day treatment, compared to the control by 171% and 160%, respectively. As a result of this experiment, it is thought that UV LED irradiation before harvesting can produce sprout ginseng with high ginsenoside contents in a plant factory.

Additional key words : ginseng, ginsenoside, medicinal plant, plant factory, UV

서 론

인삼(*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 Araliaceae과의 다년생 식물로 아시아에서 2,000년 이상 전통적 약용 작물로 이용되어 왔다(Jung 등, 2002). 건강기능성 식품으로서 최근 인삼 잎이나 열매에서 뿌리보다도 더 많은 기능성 물질(사포닌)을 함유하고 있다고 보고되었다(Choi 등, 2009). 새싹 인삼은 토양 또는 무토양 재배에서 상대적으로 짧은 재배 기간으로 인해 한국에서 약용 채소로 재배되고 있다(Jang 등, 2018). 인삼

의 주요 약리 활성 성분은 ginsenoside로 간주되며 30가지 이상의 종류를 가진 ginsenoside가 보고되었다(Harkey 등, 2001). Ginsenoside는 triterpenoid의 dammarane계의 인삼 속의 식물에만 존재하는 특유한 사포닌으로, protopanaxadiol(PPD) 및 protopanaxatriol(PPT), oleanolic acid, octillol 형태를 구분되며(Park 등, 2017), PPD 형태는 Rb1 및 Rb2, Rb3, Rc, Rd, Rg1 등 및 PPT 계열은 Re 및 Rf, Rg1, Rg2 등의 ginsenoside가 존재한다(Yang, 1977). Ginsenoside는 대표적으로 항암, 항당뇨 작용 및 면역기능 조절 작용 등을 포함하여 인간에게 수많은 약리학적 효과를 가지고 있다(Kim 등, 2017). 따라서 인삼 잎은 식품 및 산업적 가치의 훌륭한 자원으로 활용 가능하며, 이는 식물 공장에서 잎 생산을 위한 새싹

*Corresponding author: sonkh@gnu.ac.kr

Received December 29, 2021; Revised January 10, 2022;

Accepted January 12, 2022

인삼 재배에 대한 생산자의 관심을 높이고 있다.

인공조명을 이용한 식물공장은 기존의 하우스와 작물을 생산하는 온실과 달리 외부 환경의 변화에 영향을 받지 않고 환경 재배 조건을 정밀하게 제어할 수 있다. 또한, 식물공장에서는 연중 생산 계획이 가능하여 연간 대량으로 고품질 작물을 생산할 수 있어(Kozai, 2013), 새싹 인삼을 재배하는 것은 생육과 ginsenoside 함량을 향상시켜 경제적 및 산업적 가치를 높일 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

그러나 식물공장의 상업화를 위해서는 수확량과 품질의 향상이 요구된다. 식물공장(Plant Factory)이란 온도, 습도, 광, 이산화탄소 등의 환경을 제어 및 조절하여 채소 뿐만 아니라 부가가치가 높은 작물을 연중 계획 생산할 수 있는 시스템을 말한다(Cha 등, 2013). 따라서 식물공장에서 재배 작물의 파이토케미칼 함량을 모니터링하는 것은 또 다른 중요한 연구 주제이다. 최근에는 UV-A(400–315nm), UV-B(315–280nm), UV-C(280–100nm)로 구성된 자외선(UV) 파장대를 조사하는 것이 식물의 파이토케미칼의 생합성을 유도하는 연구가 실시되고 있다(Gartia 등, 2003). 이러한 결과는 UV 처리에 의해 식물의 파이토케미칼 측면에서 영양 품질을 향상시킬 수 있음을 시사한다.

식물공장에서 새싹 인삼의 연구는 다양하게 수행되었다. 발광다이오드(Light emitting diode, LED)를 이용한 다양한 광질에 대한 변화에서 원적색 광원의 추가 조사는 사포닌과 ginsenoside의 함량을 증진시킨 결과가 보고되었다(Kim 등, 2020). 또한, 적색과 청색의 혼합 LED가 생육과 ginsenoside에 긍정적인 영향(Jang 등, 2020)과 같은 식물공장 내 LED 광원 조성에 대한 결과들이 보고되었다. 한편, UV 조사가 인삼 모상근의 생장 및 사포닌 생합성에 대한 연구에서 UV 처리기간이 길어질수록 생장량의 감소와 ginsenoside 증진의 효과를 나타냈다(In 등, 2006). 이처럼 실용적 측면을 고려한 수확 전/후 UV 조사가 새싹 인삼의 ginsenoside에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없다. 따라서 식물공장에서 새싹 인삼의 품질향상을 위한 수확 전 UV 조사가 새싹 인삼의 ginsenoside 함

량 변화에 미치는 영향을 조사하고자 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 식물 재료 및 재배 환경

새싹 인삼은 1년근 묘삼으로 실험에 사용하였다. 묘삼은 땅아 가나지 않은 것으로 선별하여 지베렐린 수용액(IAP, JahngRyu Industries Co., Ltd., Cheongju, Korea)에 1,600ppm 농도로 15분간 침지 처리 후 삼목상자(51.5 × 36 × 8.5cm, L × W × H)에 인삼 전용 상토(myeongpum-insamsangto, Shinsung Mineral Co., Ltd., Goesan, Korea)를 9L씩 채운 후 처리별 100개체씩 균일한 간격으로 정식하였다. 정식 후 새싹 인삼은 컨테이너형 식물공장(Smart-farm Cube, Dream Farm Co., Ltd., Sacheon, Korea)으로 옮겨, 온도 20°C, 습도 70%, 평균 광량은 80 μmol·m⁻²·s⁻¹(R&B LED; 광주기 24h)의 조건으로 37일간 재배하였다(Fig. 1). 1주일에 2회씩 관수하였으며, 정식 후에는 인삼 전용 양액(National Institute of Horticultural and Herbal Science, EC 0.8dS·m⁻¹, pH 5.5)을 공급하였으며 그 후 두상관수로 공급하였다.

2. UV-A 및 UV-B 조사

대조구는 재배 37일에 수확하였고, 처리구는 수확 3일 전 R&B LED(처리 전과 동일 광원 및 광도)에 UV-A 및 UV-B LED(LG Innotek, Seoul, South Korea)가 추가적으로 설치된 커스텀 챔버(Fig. 2)에 옮겨 3일 동안(광주기 24h) 처리하여 분석을 위해 하루마다 수확하였다. 따라서, 처리구는 37일 후 1, 2, 3일 UV 처리 조사 후 총 40일 동안 재배되었다(Fig. 3). 수확 후, 지상 및 지하부의 생체중과 건물중을 각 처리별 10개체씩 분석하였으며, ginsenoside 분석은 처리별 30개체씩 샘플링하였다. UV의 파장 및 세기는 동일한 위치에서 JAZ(JAZ-XR-S, Ocean Optics, Dunedin, FL, USA) 및 UV 측정기(T&D, TR-74Ui, Japan)로 식물체로부터 약 30cm 거리에서 재배 구역의 9 포인트를 측정하여 계산하였다. 각 UV LED

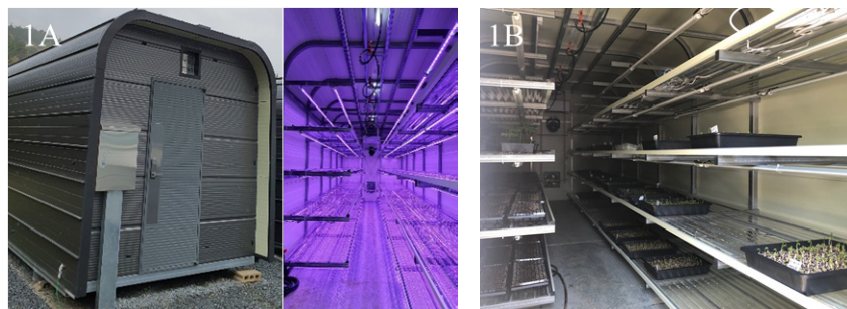


Fig. 1. Container-Plant Factory (Smart-Farm Cube; 1A) and cultivation view during the experiment (1B).

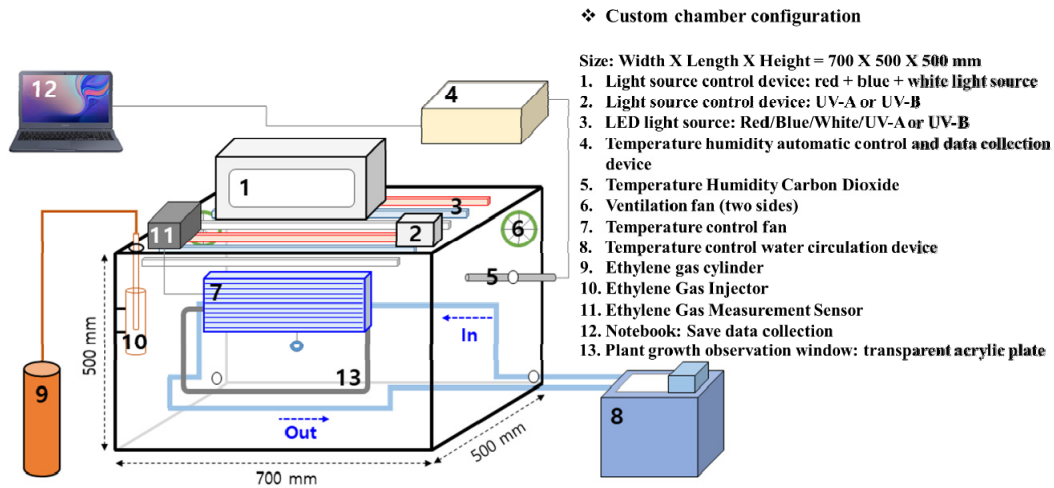


Fig. 2. Schematic diagram of the custom chamber equipped with UV-A or -B LEDs used in this study.

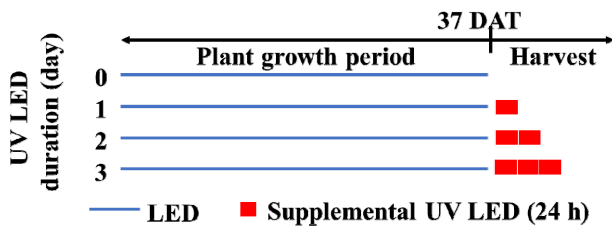


Fig. 3. Schematic diagram of the UV treatments at before harvesting time.

의 피크 파장 및 세기는 각각 UV-A(370nm; $12.90W \cdot m^{-2}$) 및 UV-B(300nm; $0.31W \cdot m^{-2}$)로 나타났다.

3. Ginsenoside 분석

Ginsenoside 함량은 high-performance liquid chromatography(HPLC Agilent 1260 system, Agilent Technologies Inc., Waldbronn, Germany)를 사용하였고 검출기는 diode array detector를 사용하였다. 21종의 ginsenoside standard (Rb1, Re, Ro, Rg2, Rg3, Rb2, Rd, F2 및 compound K등)은 KOC바이오택(Daejeon, Korea)에서 구입하였다. 추출 용매는 HPLC-grade water, acetonitrile 및 methanol(Fairlawn, NJ, USA)을 사용하였다.

Ginsenoside의 분석을 위한 전처리는 처리구별 새싹 인삼 30개체를 70°C에서 72시간 건조하고 믹서기로 분쇄하여 -4°C에서 보관하였다. 건조 분말 시료 5g에 70% HPLC methanol 20mL를 첨가하여 항온수조(70°C)에서 1시간동안 추출하고 원심분리기(1730R, GYROZEN Co., Ltd., Korea)에서 3,000 rpm, 10분동안 원심분리하고 0.45µm membrane filter로 여

과하였다. 이 과정을 2회 수행 후 새싹 인삼 추출물 40mL을 얻었다. 추출 시료는 60°C에서 감압 농축 후 HPLC water 2mL를 첨가하여 용해한 추출액을 0.45µm membrane filter로 여과하여 HPLC 분석에 사용하였다.

Ginsenosides 함량 분석은 Jin(2012)에 기술된 high-performance liquid chromatography(HPLC Agilent 1260 system, Agilent Technologies Inc., Waldbronn, Germany) 방법으로 분석하였다. 분석 컬럼은 TSKgel ODS-100Z(4.6 × 250nm, 5µm, Tosoh Corp., Tokyo, Japan)을 사용하여 시료주입량 10µL, 온도는 30°C 측정파장은 203nm, 유속은 $1.0mL \cdot min^{-1}$ 으로 설정하였고, 이동상으로는 A용액은 HPLC water, B용액은 acetonitrile을 사용하였다. HPLC 분석 조건은 용매 B를 기준으로 10min-19%, 15min-20%, 40min-23%, 42min-30%, 75min-35% 80min-19%, 90min-90%로 분석하였다.

4. 통계 분석

통계 분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하였으며, ginsenoside 분석은 처리별 30반복으로 Duncan다중 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

수확 전 UV-A 및 -B LED 처리에 따른 영향을 평가하기 위해 생육 및 ginsenoside를 분석하였다. 재배 37일 째의 새싹 인삼에 UV-A 및 -B 추가 조사는 조사 시간에 따라 감소하는 경향은 보였으나, 대조구 대비 새싹 인삼의 지상 및 지하부의 생체중 및 건물중에 유의적 감소를 보이지 않았다(data not shown).

1. Protopanaxtriol type(PPT계) ginsenoside의 변화

지상부의 PPT계열의 ginsenoside 화합물은 UV의 파장과 처리 일수에 따라 다양한 영향을 주었다(Table 1). 지상부의 총PPT 함량에 UV-A 및 -B LED 추가 조사는 대조구에 비해 증가하는 경향을 보여, UV-A 1, 2, 3일 및 UV-B 3일 처리가 대조구에 비해 유의한 증가를 보였다. 이는 UV의 에너지량도 중요하나, 파장(A 또는 B)에 영향 차이로 사료된다. 특히, 대조구 대비 2배 이상 증가된 물질은 Rf에서는 UV-A 1, 2, 3일 조사, UV-B 1일 조사가 유의하였다. 보통 Rf는 지상부 보다 지하부에 많이 함유가 되는 물질로 알려져 있는데(Choi 등,

2012), UV 처리 시 지상부에서도 Rf 함량을 유도시킬 수 있을 것으로 사료된다. F1, F3 및 F5 함량에서는 UV-B 1일 조사가 유의적으로 큰 증가를 보였는데, 이 두 화합물은 지하부보다 지상부에 많이 존재하며 미백, 항산화, 항노화 등의 효과가 있다고 알려져 있다(Jeong 등, 2018). Rg2와 Rh1은 항알레르기, 항염, 신경독성 억제 등의 생물학적 활성이 있는데(Li 등, 2007; Park 등, 2004), 각각 UV-B 1일 조사 및 UV-A 1일 조사에 따라 가장 큰 증가를 보였다.

지하부의 경우에도 지상부의 경향과 유사하게 UV 추가 조사가 긍정적인 효과를 보였다(Table 2). 지상부와 유사하게

Table 1. Ginsenosides of shoot sprout ginseng exposed to UV-A and UV-B treatments for 1, 2, and 3 days.

Contents	Shoot (mg/g dw)						
	Control	UV-A 1D	UV-A 2D	UV-A 3D	UV-B 1D	UV-B 2D	UV-B 3D
Protopanaxtriol types							
Ginsenoside Rg1 (1)	2.78 ± 0.00 ^c	2.63 ± 0.04 d	1.83 ± 0.00 f	3.45 ± 0.00 a	3.13 ± 0.01 b	1.66 ± 0.00 g	2.42 ± 0.01 e
Ginsenoside Re (2)	3.86 ± 0.00 f	7.35 ± 0.02 b	5.63 ± 0.00 c	6.90 ± 0.00 d	ND	5.10 ± 0.00 e	7.86 ± 0.01 a
Ginsenoside Rf (4)	0.18 ± 0.00 b	0.47 ± 0.09 a	0.37 ± 0.08 a	0.52 ± 0.02 a	0.40 ± 0.09 a	0.09 ± 0.01 b	0.10 ± 0.00 b
Ginsenoside F5 (5)	0.50 ± 0.00 d	0.90 ± 0.04 b	0.72 ± 0.00 c	0.74 ± 0.00 c	1.18 ± 0.07 a	0.41 ± 0.00 d	0.76 ± 0.01 c
Ginsenoside F3 (6)	0.79 ± 0.00 g	1.18 ± 0.02 d	1.01 ± 0.00 e	1.28 ± 0.00 c	1.62 ± 0.05 a	0.92 ± 0.00 f	1.46 ± 0.01 b
Ginsenoside Rg2 (8)	0.24 ± 0.00 e	0.63 ± 0.03 b	0.57 ± 0.00 c	0.68 ± 0.00 b	0.77 ± 0.05 a	0.38 ± 0.01 d	0.42 ± 0.00 d
Ginsenoside Rh1 (9)	0.08 ± 0.00 e	0.35 ± 0.01 a	0.32 ± 0.00 b	0.17 ± 0.00 c	0.12 ± 0.01 d	ND	ND
Ginsenoside F1 (13)	0.77 ± 0.00 f	1.28 ± 0.00 b	0.95 ± 0.00 d	1.21 ± 0.00 c	1.60 ± 0.02 a	0.65 ± 0.00 g	0.84 ± 0.01 e
Protopanaxtriol (18)	0.12 ± 0.00 c	0.24 ± 0.02 b	0.34 ± 0.06 a	0.38 ± 0.03 a	0.41 ± 0.00 a	0.34 ± 0.03 a	0.38 ± 0.02 a
Total	9.32 ± 0.01 d	15.03 ± 0.27 a	11.73 ± 0.13 c	15.33 ± 0.07 a	9.23 ± 0.25 d	9.56 ± 0.02 d	14.24 ± 0.04 b
Protopanaxdiol types							
Ginsenoside Rb1 (7)	0.14 ± 0.00 e	0.39 ± 0.03 c	0.29 ± 0.00 d	0.38 ± 0.00 c	0.52 ± 0.03 a	0.29 ± 0.01 d	0.43 ± 0.01 b
Ginsenoside Rc (10)	0.51 ± 0.00 de	0.85 ± 0.01 c	0.41 ± 0.00 f	0.49 ± 0.02 e	1.94 ± 0.06 a	0.58 ± 0.00 d	1.08 ± 0.02 b
Ginsenoside Rb2 (11)	0.64 ± 0.00 ef	1.22 ± 0.03 c	0.55 ± 0.00 f	0.78 ± 0.01 d	2.44 ± 0.08 a	0.71 ± 0.00 de	1.46 ± 0.00 b
Ginsenoside Rb3 (12)	0.09 ± 0.00 bc	0.18 ± 0.03 b	ND	0.17 ± 0.00 bc	0.51 ± 0.13 a	0.09 ± 0.00 bc	0.19 ± 0.01 b
Ginsenoside Rd (14)	2.00 ± 0.00 f	3.86 ± 0.01 c	1.83 ± 0.00 g	2.51 ± 0.00 e	7.66 ± 0.02 a	2.65 ± 0.00 d	4.96 ± 0.00 b
Ginsenoside Rd2 (15)	1.47 ± 0.01 d	1.92 ± 0.01 c	2.30 ± 0.16 b	2.69 ± 0.17 a	1.83 ± 0.04 c	1.24 ± 0.07 d	1.54 ± 0.00 d
Ginsenoside F2 (16)	3.32 ± 0.08 e	4.70 ± 0.08 c	4.90 ± 0.03 b	6.07 ± 0.05 a	4.19 ± 0.10 d	2.68 ± 0.03 f	3.22 ± 0.02 e
Ginsenoside Rg3 (17)	0.29 ± 0.05 d	0.51 ± 0.01 c	0.73 ± 0.05 b	0.98 ± 0.05 a	0.67 ± 0.02 b	0.51 ± 0.04 c	0.44 ± 0.02 c
Compound K (19)	0.59 ± 0.09 bc	0.43 ± 0.06 bc	0.36 ± 0.01 c	0.77 ± 0.15 ab	0.28 ± 0.00 c	1.05 ± 0.17 a	0.61 ± 0.04 bc
Ginsenoside Rh2 (20)	0.23 ± 0.00 b	0.24 ± 0.03 b	0.24 ± 0.02 b	0.39 ± 0.02 b	0.30 ± 0.01 b	0.91 ± 0.25 a	0.47 ± 0.01 b
Protopanaxdiol (21)	0.95 ± 0.01 b	1.68 ± 0.57 b	3.64 ± 0.94 a	4.97 ± 0.77 a	1.25 ± 0.15 b	1.38 ± 0.31 b	1.65 ± 0.10 b
Total	10.22 ± 0.20 c	15.99 ± 0.80 b	15.27 ± 0.98 b	20.13 ± 0.76 a	21.6 ± 0.42 a	12.10 ± 0.13 c	16.05 ± 0.10 b
Oleanane types							
Ginsenoside Ro (3)	0.65 ± 0.02 e	1.66 ± 0.03 b	2.13 ± 0.01 a	2.02 ± 0.11 a	1.73 ± 0.09 b	1.08 ± 0.03 d	1.29 ± 0.02 c
Total ginsenosides	20.19 ± 0.22 e	32.68 ± 0.96 b	29.13 ± 1.10 c	37.48 ± 0.72 a	32.56 ± 0.48 b	22.74 ± 0.10 d	31.58 ± 0.10 b

^zAll values are presented as the mean ± SD of triplicate determination; ND: not detected.

^yDifferent letters within columns indicate significant differences at $p \leq 0.05$ by Duncan ($n=30$).

UV-B는 Rg1, Re, F3, Rg2의 함량을 증진시켰으며, 지하부의 F5 및 Propanaxtriol에는 UV-A 조사가 효과적으로 나타났다. 지상부와는 반대로 총 PPT의 함량은 UV-B 3일 처리가 가장 큰 값을 나타냈다.

2. Protopanaxdiol type(PPD계) ginsenoside의 변화

지상부의 PPD계열의 ginsenoside 화합물 역시 UV의 파장과 처리 일수에 따라 다양한 영향을 주었다(Table 1). 지상부의 총 PPD 함량에 UV-A 및 -B LED 추가 조사는 대조구에 비해 증가하는 경향을 보여, 모든 UV-A 및 -B 처리가 대조구에

비해 유의한 증가를 보였다. 특히, 총 PPD 함량에 UV-A 3일 및 UV-B 1일 조사가 가장 큰 증가를 보였다. Rb1, Rc, Rb2, Rb3, 및 Rb3 화합물은 보통 지상부보다 지하부에 더욱 함유하고 있는 데(Choi 등, 2012), 이러한 화합물을 UV-A 또는 -B 추가 조사 시 유도할 수 있음을 보였다. F2 화합물은 가공 시 열처리를 하면 증가하는 것으로 보고되었는데(Hwang 등, 2010), 이번 연구에서는 UV-A 3일 조사 시 약 2배까지 증가를 보였다. ginsenoside 대사의 유도체 중 하나인 Compound K는 중앙 억제, 항암 활성, 당뇨 예방 등의 효과를 나타낸다(Chae 등, 2009). 이 화합물을 UV-B 2일 조사 시 대조구 대비

Table 2. Ginsenosides of root sprout ginseng exposed to UV-A and UV-B treatments for 1, 2, and 3 days.

Contents	Root (mg/g dw)						
	Control	UV-A 1D	UV-A 2D	UV-A 3D	UV-B 1D	UV-B 2D	UV-B 3D
Protopanaxtriol types							
Ginsenoside Rg1 (1)	0.94 ± 0.00 ^d	0.96 ± 0.00 c	0.68 ± 0.00 e	1.01 ± 0.01 a	0.95 ± 0.00 cd	0.52 ± 0.00 f	0.99 ± 0.01 b
Ginsenoside Re (2)	1.90 ± 0.00 f	2.62 ± 0.01 b	2.35 ± 0.00 d	2.56 ± 0.01 c	3.05 ± 0.00 a	2.00 ± 0.00 e	3.04 ± 0.01 a
Ginsenoside Rf (4)	0.26 ± 0.00 d	0.35 ± 0.00 c	0.28 ± 0.00 cd	0.34 ± 0.00 c	0.42 ± 0.06 b	0.22 ± 0.02 d	0.57 ± 0.00 a
Ginsenoside F5 (5)	0.40 ± 0.01 a	0.48 ± 0.04 a	0.31 ± 0.00 b	0.46 ± 0.02 a	0.25 ± 0.04 b	0.11 ± 0.00 c	0.24 ± 0.00 b
Ginsenoside F3 (6)	0.01 ± 0.00 de	ND	0.02 ± 0.00 de	0.03 ± 0.00 d	0.22 ± 0.02 b	0.13 ± 0.00 c	0.24 ± 0.01 a
Ginsenoside Rg2 (8)	0.17 ± 0.00 e	0.28 ± 0.01 cd	0.26 ± 0.00 d	0.30 ± 0.00 c	0.38 ± 0.02 b	0.27 ± 0.00 d	0.45 ± 0.00 a
Ginsenoside Rh1 (9)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01 ± 0.01 a
Ginsenoside F1 (13)	ND	ND	0.08 ± 0.00 ab	0.07 ± 0.01 b	0.07 ± 0.00 b	0.05 ± 0.00 c	0.08 ± 0.00 a
Protopanaxtriol (18)	0.08 ± 0.03 b	0.24 ± 0.04 a	0.06 ± 0.00 b	0.08 ± 0.01 b	0.12 ± 0.00 b	0.11 ± 0.04 b	0.11 ± 0.00 b
Total	3.77 ± 0.02 e	4.92 ± 0.08 c	4.04 ± 0.01 d	4.85 ± 0.02 c	5.44 ± 0.13 b	3.42 ± 0.06 f	5.77 ± 0.02 a
Protopanaxdiol types							
Ginsenoside Rb1 (7)	1.88 ± 0.00 e	2.65 ± 0.07 b	2.12 ± 0.00 d	2.38 ± 0.09 c	3.22 ± 0.06 a	1.91 ± 0.01 e	3.26 ± 0.01 a
Ginsenoside Rc (10)	1.38 ± 0.02 d	1.69 ± 0.03 c	1.26 ± 0.00 e	1.75 ± 0.01 c	2.13 ± 0.02 a	1.14 ± 0.01 f	1.92 ± 0.03 b
Ginsenoside Rb2 (11)	0.90 ± 0.00 e	1.27 ± 0.01 b	0.98 ± 0.00 d	1.17 ± 0.04 c	1.48 ± 0.00 a	0.84 ± 0.01 f	1.46 ± 0.01 a
Ginsenoside Rb3 (12)	0.14 ± 0.00 de	0.19 ± 0.00 b	0.15 ± 0.01 d	0.18 ± 0.00 c	0.22 ± 0.00 a	0.13 ± 0.00 e	0.21 ± 0.00 a
Ginsenoside Rd (14)	0.63 ± 0.01 c	0.78 ± 0.02 b	0.58 ± 0.00 d	0.67 ± 0.02 c	0.95 ± 0.00 a	0.45 ± 0.01 e	0.79 ± 0.01 b
Ginsenoside Rd2 (15)	0.22 ± 0.03 b	0.66 ± 0.02 a	0.55 ± 0.09 a	0.46 ± 0.04 ab	0.64 ± 0.06 a	0.36 ± 0.12 ab	0.43 ± 0.19 ab
Ginsenoside F2 (16)	0.21 ± 0.01 e	0.32 ± 0.02 b	0.26 ± 0.00 cd	0.28 ± 0.01 c	0.36 ± 0.02 ab	0.23 ± 0.02 de	0.40 ± 0.00 a
Ginsenoside Rg3 (17)	0.13 ± 0.04 c	0.53 ± 0.02 a	0.26 ± 0.01 b	0.13 ± 0.00 c	0.24 ± 0.03 bc	0.20 ± 0.07 bc	0.29 ± 0.05 b
Compound K (19)	0.13 ± 0.03 c	0.26 ± 0.05 a	0.27 ± 0.00 a	0.17 ± 0.03 bc	0.25 ± 0.01 a	0.18 ± 0.03 bc	0.22 ± 0.00 ab
Ginsenoside Rh2 (20)	0.19 ± 0.01 c	0.96 ± 0.07 a	0.19 ± 0.01 a	0.20 ± 0.00 bc	0.30 ± 0.01 a	0.21 ± 0.02 bc	0.28 ± 0.01 ab
Protopanaxdiol (21)	0.54 ± 0.13 c	2.49 ± 0.95 a	0.52 ± 0.03 c	0.56 ± 0.01 c	0.66 ± 0.00 b	0.34 ± 0.00 bc	0.64 ± 0.00 bc
Total	6.36 ± 0.21 b	11.80 ± 0.99 a	7.13 ± 0.10 b	7.94 ± 0.19 b	10.44 ± 0.08 b	5.99 ± 0.28 b	9.89 ± 0.28 b
Oleanane types							
Ginsenoside Ro (3)	0.41 ± 0.01 d	1.24 ± 0.00 a	0.66 ± 0.04 cd	0.51 ± 0.03 c	0.75 ± 0.09 b	0.57 ± 0.14 d	1.22 ± 0.26 b
Total ginsenosides	10.53 ± 0.23 b	17.97 ± 1.06 a	11.83 ± 0.14 b	13.30 ± 0.18 b	16.63 ± 0.17 b	9.97 ± 0.46 b	16.88 ± 0.56 a

^zAll values are presented as the mean ± SD of triplicate determination; ND: not detected.

^yDifferent letters within columns indicate significant differences at $p \leq 0.05$ by Duncan ($n=30$).

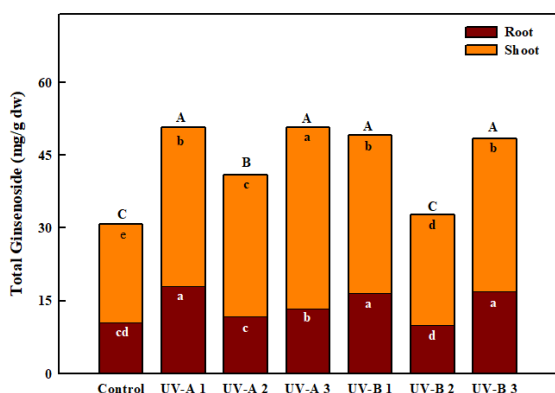


Fig. 4. Total ginsenosides of shoot and root sprout ginseng exposed to UV-A or -B LEDs for 1, 2, 3 days. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ ($n = 30$).

약 2배 가량 증진시킬 수 있었다. ginsenoside 중 Rh2는 minor한 화합물이지만 상당한 약리 활성과 치료제 효과를 지닌다고 보고되었는데(Yu 등, 2009), 이 화합물 역시 UV-B(2일) 조사에 의해 약 3배 이상 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 한편, Protopanaxdiol 화합물은 UV-A에 의해서만 증진이 되어 2일 및 3일 조사에 의해 약 3배 이상 증가를 보였다. Oleanane type인 Ro는 항혈전, 항염 및 항간염 활성에 좋은 물질로, 이는 주로 지하부에서 합성된다고 알려져 있다(Han 등, 2013). Ro 역시 모든 UV 조사에 의해 증가되었으며, 그 중 UV-A 2, 3일 처리가 가장 큰 증가를 보였다.

지하부의 경우에도 지상부의 경향과 유사하게 나타났으나, PPD 계열의 각각의 개별 화합물들에 지상부보다 큰 효과를 나타내어 대부분 UV 처리가 증가됨을 확인할 수 있었다(Table 2). 지상부와 유사하게 UV-B는 Rb1, RC, Rb2, Rb3, Rd의 함량을 증진시켰으며, 지하부의 Rd2의 경우 UV-A 및 -B 처리 모두에서 증가효과를 보였다. 한편, F2는 지상부와는 다르게 UV-B 조사에 의해 증진됨을 확인할 수 있었다. Rg3와 Protopanaxdiol 합성에는 지상/지하부 모두 UV-A가 효과적으로 나타났다. 하지만, PPD 계열의 총 함량은 UV-A 1일 처리만 유의적 증진효과를 보였다. Ro 또한 UV-A에 의해 지상/지하부 증진을 보였으나 지상부에는 2, 3일이 지하부에서는 1일 조사가 유의적으로 증가한 것으로 나타났다.

지상부의 총 ginsenoside의 함량은 UV-A와 -B 조사에서 대조구에 비해 모두 유의적 증가를 보였는데, 그 중 UV-A가 가장 큰 증진을 보였다(Fig. 4). 지하부의 총 ginsenoside는 UV-A 조사(1일) 뿐만 아니라 UV-B 조사(1, 3일)가 유의적 증가를 나타냈다. 지상부와 지하부의 총 ginsenoside의 함량을 보았을 때(Fig. 4), UV-A 1, 3일과 UV-B 1, 3일이 가장 큰 증가를 보였으며, UV-B 2일 처리는 대조구와 큰 차이를 보이

지 않았다.

따라서, 수확 전 UV 조사는 특정 물질을 증진시킬 수 있으며, UV 파장에 따라 그리고 처리 일수에 따라 각 개별 ginsenoside 물질의 변화를 줄 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 UV의 조사는 생육 단계, 처리 방법, 파장, 세기 등의 요인에 따라 각기 반응하는 것을 알 수 있었다(Lee 등, 2019). 특히, 이번 실험에 사용된 UV-B의 세기가 현저히 낮음에도 불구하고 UV-A의 효과만큼 단시간에 증가 효과를 나타내어, 세기뿐만 아니라 UV 파장이 중요함을 제시할 수 있다. 하지만, 추가적인 실험으로 UV 처리에 따른 시간적인 변화 반응 연구가 필요할 것으로 판단된다. 결론적으로 식물공장 등에서 새싹 인삼의 품질향상을 위한 기술로 UV를 수확 전 처리한다면, 생육 저하 없이 품질(즉, ginsenoside)을 향상시킬 수 있으며, 개별 화합물을 추출할 때에는 특정 물질에 맞는 조사 방법을 활용 가능할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 새싹 인삼의 수확 전에 UV-A, UV-B LED의 추가 조사에 따른 ginsenoside 함량 변화를 알아보기 위해 수행되었다. 실험 재료는 1년근 묘삼을 사용하였고, 인삼 전용 상토를 채운 삼목상자에 100개체를 정식하였다. 그 후, 묘삼을 온도 20°C, 습도 70%, 평균 광도 80 μmol·m⁻²·s⁻¹(광주기; 24h)로 유지되는 컨테이너형 식물 공장에서 37일 동안 재배하였다. 37일 동안 재배한 새싹 인삼을 UV-A(370nm; 12.90 W·m⁻²) 및 UV-B(300nm; 0.31 W·m⁻²) LED가 장착된 맞춤형 챔버로 옮겨 3일 동안 처리하였다. 생육조사 및 ginsenoside 함량 분석은 UV 처리 0일(대조구), 1일, 2일 및 3일에 각각 수확하여 수행하였다. 그 결과, 생육은 대조구와 UV 파장 및 일수에 따른 통계적 차이를 보이지 않았다. 반면에 UV-A 처리 3일 만에 지상부의 ginsenoside 함량이 대조구에 비해 186% 향상되었다. 뿌리의 ginsenoside 함량은 UV-A 1일 처리 및 UV-B 3일 처리에서 대조구에 비해 각각 171% 및 160% 더 증가하였다. 본 실험의 결과, 식물공장에서 수확 전 UV LED 조사를 통해 ginsenoside 함량이 높은 새싹 인삼을 생산할 수 있는 것으로 사료된다.

추가 주제어: 식물공장, 약용식물, 인삼, 진세노사이드, UV

사 사

이 논문은 2020-2021년도 경상국립대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Literature Cited

- Cha M.K., J.H. Cho, and Y.Y. Cho 2013, Growth of leaf lettuce as affected by light quality of LED in closed-type plant factory system. *Protected Hort Plant Fac* 22:291-297. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2013.22.4.291
- Chae S, K.A. Kang, W.Y. Chang, M.J. Kim, S.J. Lee, Y.S. Lee, H.S. Kim, D.H. Kim, and J.W. Hyun 2009, Effect of compound K, a metabolite of ginseng saponin, combined with γ -Ray radiation in human lung cancer cells in vitro and in vivo. *J Agric and Food Chem* 57:5777-5782. doi:10.1021/jf900331g
- Choi J.E., X. Li, Y.H. Han, and K.T. Lee 2009, Changes of saponin contents of leaves, stems and flower-buds of *Panax ginseng* C. A. Meyer by harvesting days. *Korean J Medicinal Crop Sci* 17:251-256. (in Korean)
- Choi S.Y., C.W. Cho, Y. Lee, S.S. Kim, S.H. Lee, and K.T. Kim 2012, Comparison of ginsenoside and phenolic ingredient contents in hydroponically-cultivated ginseng leaves, fruits, and roots. *J Ginseng Res* 36:425-429. doi:10.5142/jgr.2012.36.4.425
- Gartia S., M.K. Pradhan, P.N. Joshi, U.C. Biswal, and B. Biswal 2003, UV-A irradiation guards the photosynthetic apparatus against UV-B- induced damage. *Photosynthetica* 41:545-549. doi:10.1023/B:PHOT.0000027518.95032.c1
- Han J.Y., M.J. Kim, Y.W. Ban, H.S. Hwang and Y.E. Choi 2013, The involvement of β -amyrin 28-oxidase (CYP716 A52v2) in oleanane-type ginsenoside biosynthesis in *Panax ginseng*. *Plant Cell Physiol* 54:2034-2046. doi:10.1093/pcp/pct141
- Harkey M.R., G.L. Henderson, M.E. Gershwin, J.S. Stern, and R.M. Hackman 2001, Variability in commercial ginseng products: an analysis of 25 preparations. *Am J Clin Nutr* 73:1101-1106. doi:10.1093/ajcn/73.6.1101.
- Hwang I.G., H.Y. Kim, E.M. Joung, K.S. Woo, J.H. Jeong, K.W. Yu, J Lee, and H.S. Jeong 2010, Changes in ginsenosides and antioxidant activity of Korean ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) with heating temperature and pressure. *Food Sci Biotechnol* 19:941-949. doi:10.1007/s10068-010-0132-9
- In J.G., D.S. Park, B.S. Lee, T.H. Lee, S.Y. Kim, Y.D. Rho, D.H. Cho, C.W. Jin, and D.C. Yang 2006, Effects of white light and UV irradiation on growth and saponin production from ginseng hairy root. *Korean J Medicinal Crop Sci* 14:360-366. (in Korean)
- Jang I., G. Do, S. Suh, J. Yu, I. Jang, J. Moon, and C. Chun 2020, Physiological responses and ginsenoside production of *Panax ginseng* seedlings grown under various ratios of red to blue light-emitting diodes. *Hortic Environ Biotechnol* 61:663-672. doi:10.1007/s13580-020-00255-5
- Jang I.B., J. Yu, S.J. Suh, I.B. Jang, and K.B. Kwon 2018, Growth and ginsenoside content in different parts of ginseng sprouts depending on harvest time. *Korean J Medicinal Sci* 26:205-213.
- Jeong D.H., D.Y. Lee, I.B. Jang, J. Yu, K.C. Park, E.H. Lee, Y. J. Kim, and H.W. Park 2018, Growth and ginsenoside content of one year old ginseng seedlings in hydroponic culture over a range of days after transplanting. *Korean J Medicinal Crop Sci* 26:464-470. (in Korean) doi:10.7783/kjmcs.2018.26.6.464
- Jin Y., Y.J. Kim, J.N. Jeon, C. Wang, J.W. Min, S.Y. Jung, and D.C. Yang 2012, Changes of ginsenosides and physiochemical properties in ginseng by new 9 repetitive steaming and drying process. *Korean J Plant Res* 25:473-481. (in Korean) doi:10.7732/KJPR.2012.25.4.473.
- Jung M.Y., B.S. Jeon, and J.Y. Bock 2002, Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids in white and red Korean ginsengs (*Panax ginseng* C.A. Meyer). *Food Chem* 79:105-111. doi:10.1016/S0308-8146(02)00185-1
- Kim J.H., Y.S. Yi, M.Y. Kim, and J.Y. Cho 2017, Role of ginsenosides, the main active components of *Panax ginseng*, in inflammatory responses and diseases. *J Ginseng Res* 41:435-443. doi:10.1016/j.jgr.2016.08.004
- Kim Y.J., T.K.L. Nguyen, and M.M. Oh 2020, Growth and ginsenosides content of ginseng sprouts according to LED-based light quality changes. *Agronomy* 10:1979. doi: 10.3390/agronomy10121979
- Kozai T. 2013, Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci* 89:447-461. doi:10.2183/pjab.89.447
- Lee J.H., M.M. Oh, and K.H. Son 2019, Short-term ultraviolet (UV)-a light-emitting diode (LED) radiation improves biomass and bioactive compounds of kale. *Front Plant Sci* 10:1042. doi:10.3389/fpls.2019.01042
- Li N., B. Liu, D.E. Dluzen, and Y. Jin 2007, Protective effects of ginsenoside Rg2 against glutamate-induced neurotoxicity in PC12 cells. *J Ethnopharmacol* 111:458-463. doi:10.1016/j.jep.2006.12.015
- Park E.K., M.K. Choo, M.J. Han, and D.H. Kim 2004, Ginsenoside Rh1 possesses antiallergic and anti-inflammatory activities. *Int Arch Allergy Immunol* 133:113-120. doi: 10.1159/000076383
- Park S.M., E.H. Jung, J.K. Kim, K.H. Jegal, C.A. Park, I.J. Cho, and S.C. Kim 2017, 20S-Protopanaxadiol, and aglycosylated ginsenoside metabolite, induces hepatic stellate cell apoptosis through liver kinase B1-AMP-activated protein kinase activation. *J Ginseng Res* 41:392-402. doi:10.1016/j.jgr.2017.01.012
- Yang H.C. 1977, Studies on the saponin of ginseng leaves. *Research Paper in Chungnam University* 8:117-121.
- Yu H., Q. Liu, C. Zhang, M. Lu, Y. Fu, W.T. Im, S.T. Lee, and F. Jin 2009, A new ginsenosidase from *Aspergillus* strain hydrolyzing 20-O-multi-glycoside of PPD ginsenoside. *Process Biochem* 44: 772-775. doi:10.1016/J.PROCBIO.2009.02.005